

3DAモデルを活用した検査業務効率化の検証Ⅱ

廣 瀬 龍 希^{*1}

上 原 忍^{*2}

保 野 佑 介^{*3}

前 田 一 輝^{*4}

【要 旨】

接触式CNC三次元座標測定機による測定は、高精度な測定が可能である反面、複雑な部品の測定をする場合や、機器の操作に不慣れな者が測定する場合は、業務の完了までに非常に多くの時間がかかる。本研究では、3次元CADモデルにサイズや幾何公差といった情報を付与した3DAモデルを活用することで、測定業務がどの程度効率化できるのかを検証した。

1 はじめに

近年の製造業界では3次元CADによる設計が一般的となっているが、異なるCADソフト間でデータをやり取りする際は、設計者が使用するCADの独自形式からISO 10303のSTEP AP 203やSTEP AP 214、ANSI Y14.26MのIGESといった中間ファイル形式へデータ形式の変換が必要となることが多い。

しかし、従来の中間ファイル形式は、CAD独自形式の際にあった材質や公差等の情報が欠落している。製造や検査といった下流工程においては、この欠落した情報を補足するために紙図面を併用したり、そもそも発注者側から紙図面しか渡されないことも多い。

そのような中で、3次元モデルにサイズや公差、注記等の情報、製品製造情報（PMI）を持たせた3DAモデル（3D-Annotated Model）やモデルベース定義（MBD）と呼ばれる新たな中間ファイル形式の普及が進められている。3DAモデルのPMIは、セマンティックな情報であることから工作機械や測定

機等の機械が理解可能（マシンリーダブル）であることが特徴である。当センターにおいても多くの依頼測定を実施している接触式CNC三次元座標測定機（CMM）等による測定工程への3DAモデル適用は、特に研究開発が進められている。CMMは高精度な測定が可能であるが、測定戦略の十分な検討や測定点や解析のためのプログラム作成が必要になる。特に複雑な部品の測定をする場合や機器に不慣れな者が測定する場合は、業務の完了までに非常に多くの時間を要する。そのため、CMMメーカー各社により、測定パスの自動作成機能の開発が進められており、国内外の展示会においても紹介がされている。

しかし、これから3DAモデルに対応するためには多くの設備投資が必要になり、企業の知見も不足している。府内企業についても対応を模索しているが、加工工程の検証を主軸としており、検査工程までは手が回っておらず、当センターのような公設試による支援が求められている。

Herronらによるアメリカでの研究によると、3DAモデルの1つであるQIFを活用したCMM工程の自動化では、60%効率化ができるケースもあるという¹⁾。ところが、検査業務については部品によって工数が大きく変わってくるため、形状ごとの効果につ

*1 基盤技術課 副主査

*2 基盤技術課 主任研究員

*3 基盤技術課 技師

*4 中丹技術支援室 室長

いては情報が少ない。そこで本研究では、特に検査工程について、当センターの設備を使った検査業務の効率化の効果を検証する。

3DAモデルの形式としては、ISO 10303-242:2022のSTEP AP242やISO 23952:2020のQIF 3.0、ISO 14306:2017のJTが主流となりつつある。本研究では、この中で当センターの機器で読み取り可能なSTEP形式及びQIF形式を使って検証を進めることとした。

令和5年度研究においてはデータの読み込み確認と、箱型形状の部品を使った測定を行い、3DAモデルを使用した測定により、従来手法に比べて工程短縮の可能性があることが分かった²⁾。2年目となる今回は、ピン形状の様な円筒形状部品においても3DAモデルによる効率化が可能であるかを検証する。

2 実験方法

2.1 使用機器

2.1.1 測定機

先述のとおり、接触式CMMについては、高精度な測定が可能であることから企業からの需要も高い機器であるが、プログラム作成に多くの時間を要する。そのため、本研究では、主にCMMによる測定業務の効率化を検証することとした。

当センターのCMMであるLeitz PMM-Cを図1に、その仕様を表1を示す。

コンピュータ数値制御の門固定型CMMであり、プローブヘッドは固定型である。そのため、複数の向きのプローブが必要になる場合は、その向きのプローブを作成し、事前にキャリブレーションを行う。

制御ソフトであるQuindosは、I++DMEプロトコル準拠のCMM制御・解析用のソフトウェアであり、読み込んだ3次元CADを使ったCAT (Computer Aided Teaching) にも対応している。



図1 Leitz PMM-C 12.10.7
(Hexagon Metrology GmbH)

表1 CNC 三次元座標測定機の仕様

機 種	Leitz PMM-C 12.10.7 (Hexagon Metrology GmbH)
測定範囲	1,200mm × 1,000mm × 700mm
測定精度	MPE _E =(0.6+L/800) μm MPE _P =0.6 μm MPE _{TP} =1.5 μm/s
制御ソフト	Quindos 7
設置年度	平成23年度

2.1.2 解析ソフト

当センターのCMMの制御ソフトQuindosは、最新のバージョンであれば一部 3DA モデルの直接読み込みにも対応している³⁾ ということだが、当センターのQuindos 7においてはSTEP AP 203 や IGES といった従来の3次元 CAD モデルの読み込みのみに対応している。

そのため、解析ソフトとしては、QVI 社の幾何公差評価ソフトウェア KOTEM SmartProfile (ver. 11.0.3) を使用することとした。

なお、令和5年度の研究において、Quindos 7は、STEP AP 242 形式は形状のみ読み込める場合があるがPMIは読み込めず、QIF 3.0は全く読み込めないこと、SmartProfileは、STEP AP 242の形状は読み込み可能だが、PMIは読み込めず、QIF 3.0であればサイズ公差及び幾何公差の読み込みが可能であることが分かっている²⁾。

2. 1. 3 3DAモデル

測定する 3DA モデルは、一般社団法人電子情報技術産業協会 三次元 CAD 情報標準化専門委員会において作成したモデルを提供していただき、使用した。

なお、データ形式は、ダッソー・システムズ社の 3 次元 CAD ソフト・ソリッドワークスの独自形式 SLDPRT、3DA モデルの中間ファイル形式である STEP AP 242 及び QIF 3.0、確認用の 3DHTML 形式で提供いただいた。図 2 に 3DHTML の 3DA モデルを示す。

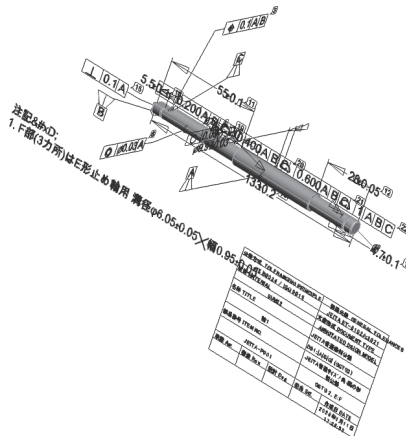


図2 3DA モデル (3DHTML)

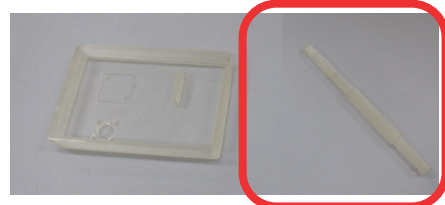
2. 1. 4 3Dプリンタ

測定する器物は、図 3 に示す 3D プリンタ・AGILISTA により製作した。造形材料は、アクリル系樹脂である。造形データは、当センターにおいて図 2 の 3DA モデルから STL データに変換した。



図3 AGILISTA-3200 (キーエンス)

令和 5 年度はケース部品の測定を実施したが、今回はピン形状の器物を測定する。図 4 に造形した器物を示す。



今回測定する器物

図4 造形器物

2. 2 実験手順

2. 2. 1 測定時間の計測

実験にあたっては、紙図面を使った従来からの測定手順と 3DA モデルを活用した手法で結果出力までに要する時間を計測する。図 5 に時間を計測する測定工程と流れを示す。以降は、各工程を順に工程(1)から工程(6)とする。

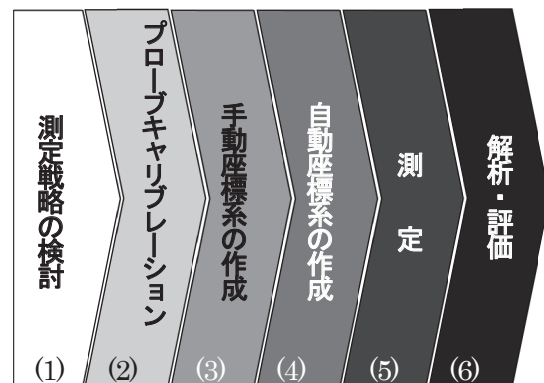


図5 測定手順

2. 2. 2 従来手法

まずは、従来手法として、紙図面を想定してプログラムの作成から解析・評価までをQuindos上で実施した。測定方針としては、図 2 のモデルの指示箇所を、掴み替え無しで極力多く測定できるよう考慮し、図 6 に示すような形でクランプを行った。

当センターのCMMのプロロービング力は、通常、最大0.8 N、トリガー0.7 Nと比較的強い力であるが、今回はチップ径0.6 mmの小径スタイラスを使用し、後述の樹脂製の部品を測定することから、低接触圧モードでの測定とし、全ての形体をポイント測定で測定した。

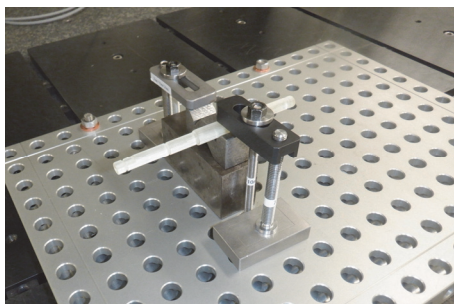


図6 器物の設置

2. 2. 3 3DAモデルから設計点の作成

次に3DAモデルを活用した測定として、令和5年度にも実施した方法と同様に、3DAモデルから作成した設計点を使って測定を実施し、解析・評価はSmartProfileで実施した。

手順としては、SmartProfileの機能であるCMMライクサンプラーを使って図7に示すようにモデル上の公差指示のある箇所設計点を作成し、その測定点をCMMにインポートする方法である²⁾。

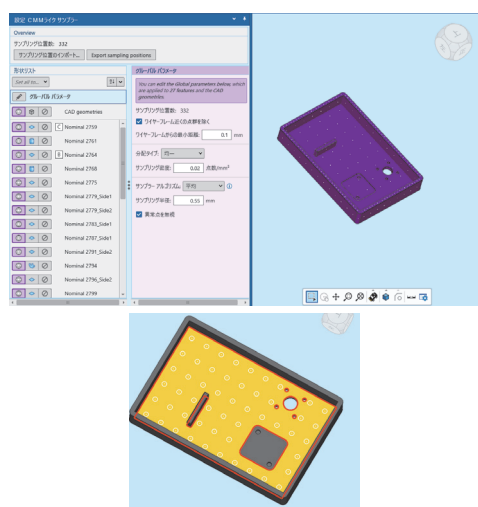


図7 CMM ライクサンプラー

本来、CMMライクサンプラーは、3次元スキャナ等で取得した点群データをCMMで測定した時のように間引くための機能であるが、モデル上に作成した点群の座標データをCSV形式等で出力することができる。

2. 2. 4 倣い測定で測定点を取得

また、今回は、倣い（スキャニング）測定により多くの測定点データを取得し、SmartProfileで解析・評価する方法でも実験を行った。測定パスは、効率よく点を取得できるよう、ピンの両頂点から45度間隔で軸方向に8断面測定した。

3 結果及び考察

3. 1 実験結果

3つの測定手法における測定時間の比較を図8に示す。完了までに要した時間は、従来手法が合計約8時間10分、3DAモデルから設計点を作成する手法（3DA(1)）が合計約7時間20分、倣い測定を組み合わせる方法（3DA(2)）で合計約4時間20分となった。従来手法に比べて、3DA(1)は約10%効率化、3DA(2)は約50%の効率化となった。

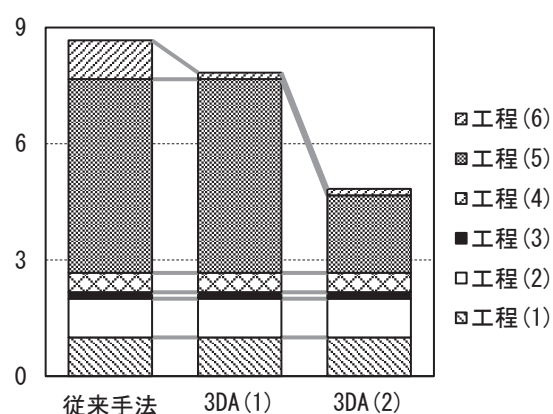


図8 測定結果の比較（単位：時間）

また、各手法の工程毎に要した時間を表2に示す。

工程で見ると、工程（５）の測定時間については従来手法と3DA(1)ではほぼ同じ時間であったが、3DA(2)では約60%の効率化、工程（６）の解析時間については、80%以上の効率化となった。

なお、工程（１）測定戦略の検討から工程（４）自動座標系の作成までの時間については、ほぼ同じ作業を行い、同一部品を繰り返し測定する慣れによる影響を除外するため、最初に実施した従来測定の時間を全ての手法に当てはめている。

表２ 各工程に要した時間（単位：分）

工程	従来手法	3DA(1)	3DA(2)
(1)		30	
(2)		60	
(3)		10	
(4)		30	
(5)	300	300	120
(6)	60	10	10

3. 2 測定手法ごとの特徴

3. 2. 1 従来手法

従来手法による測定では、形体ごとに測定点を生成するのが一般的であり、今回のモデルのように測定形体が非常に多い複雑な形状を測定する場合は、形体数に比例して生成するコマンドの数が増えていき、プログラムも長大になるため測定プログラムを作成する時間が膨大になった。

また、従来手法の場合、測定点が同じであっても評価方法に変更が入った場合、測定プログラム全体を見直す必要があり、測定者の負担が非常に大きいと考えられる。一方、測定精度の面においては、複数回測定時の結果のばらつきが数 μm 以下と非常に高精度に測定することができた。

3. 2. 2 3DAモデルから設計点の作成

令和５年度研究のような角物部品の場合は本手法によって30%以上の時間短縮となっていたが、今

回のような円筒形状のポイント測定を実施する場合は従来手法と大きく変わらない結果となった。これは、CMMはある測定点のプロービング終了位置から次の測定点のプロービング開始位置までを直線で移動することから、円筒形状をポイント測定する場合は曲面の器物と接触しないように適切な退避点（CLPまたはClearance Point）を挿入する必要がある。

この点はCMMライクサンプラーで作成できないため、別途挿入する必要があることから、大きな測定時間の短縮に繋がらなかった。プロービングの際は、当センターの機器を含む多くのCMMにおいてアプローチ／タッチバック距離が設定可能であることから、曲率半径の小さな部品の場合や、曲率の大きな部品であってもアプローチ／タッチバック距離を大きめに設定したり、測定ピッチを小さくすることで退避点は不要になる。これによって3DA(1)の手法であっても工程（５）の更なる効率化が可能であると考えられる。

工程（６）については、セマンティックPMIにより、自動的に評価が可能であることから、従来手法に比べて非常に高効率化ができた。

3. 2. 3 倣い測定で測定点を取得

倣い測定による測定点の取得は、CMMを一種の３次元スキャナのように使用する手法であり、同一の開始点から一定の位置までの連続測定するプログラムを作成し、角度を変えてコピーするだけで測定ができるため、従来手法や3DA(1)の手法のようなポイント測定に比べて測定時間の大きな効率化に繋がった。

また、工程（６）の解析については、3DA(1)と同様に、セマンティックPMIによって、自動的に評価が可能であることから、従来手法に比べて非常に高効率化できた。

この手法では、測定形体が増加したり、評価方

法が変更になったとしても測定者の手間は変わらなかった。

ただし、倣い測定による手法の場合、複数回測定した際の測定結果のばらつきが十数 μm となり、従来手法に比べてやや大きくなった。このことから、測定精度については従来手法のほうが有利であると考えられる。

3. 3 評価項目ごとの特徴

令和5年度研究及び本研究の測定作業から、評価項目ごとに3DAモデル活用の有効性を表3のとおり整理する。

表3 評価項目による3DAモデルの有効性

サイズ	◎	位置度	○
真直度	○	同心度	○
真円度	△	同軸度	○
円筒度	△	対称度	○
線の輪郭度	◎	円周振れ	○
面の輪郭度	◎	全振れ	○
平行度	◎	◎：特に有効 ○：有効 △あまり有効でない	
直角度	◎		
傾斜度	◎		

真円度や円筒度については、真円度測定機のような専門の機器を使用したほうが精度が良く、円周方向に多点を取得する必要があることもあり、時間短縮効果も薄い等、CMMと3DAモデルの組み合わせではあまり効果的ではなかった。それでも多くの項目において3DAモデルによる評価は有効と考えられ、各器物の測定や自由曲面の輪郭度の測定においては、SmartProfileの使用によって大きく手間が軽減されると考えられる。

また、サイズ公差については、紙図面では基準が不明確なのに対し、3DAモデルでは形体に関連付けてPMIが設定されるため、基準が統一できると受発注者間の認識の相違を減らすことに有効であると考えられる。

4 まとめ

本研究によって、以下のような知見が得られた。これらの知見については、今後の技術相談や依頼試験において、活用することができると考えられる。

- (1) 3DAモデルの活用により、角物・円筒物を含めた複雑な部品ほど、CMMによる測定の大部分をより短い時間で測定・評価できる可能性がある。
- (2) サイズ公差や輪郭度を多用する設計においても、3DAモデルの恩恵は大きい。
- (3) より厳密な精度を求められる場合は、CMMで適宜ポイント測定プログラムを作成する方が良い。
- (4) 評価方法の変更がある場合も、3DAモデルであれば少ない手間で対応が可能。

（謝辞）

本研究を進めるにあたり、多大なる御協力をいただきました。一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）三次元CAD情報標準化専門委員会、QVIジャパン株式会社、株式会社京都試作センター及び一般社団法人京都試作ネットの皆様に深く感謝いたします。

（参考文献）

- 1) Jennifer Herron, Curtis Brown, and Daniel Campbell, DMSC : QIF and the future of digital metrology, Model-Based Enterprise Summit (2018)
- 2) 廣瀬龍希, 前田一輝, 上原忍, 保野佑介 : 3DAデータ活用による検査業務効率化の検証, 京都府中小企業技術センター技報、No. 51, pp. 1-8 (2024)
- 3) 株式会社メトロテック, ヘキサゴン社（スウェーデン） : QUINDOSカタログ (2023)